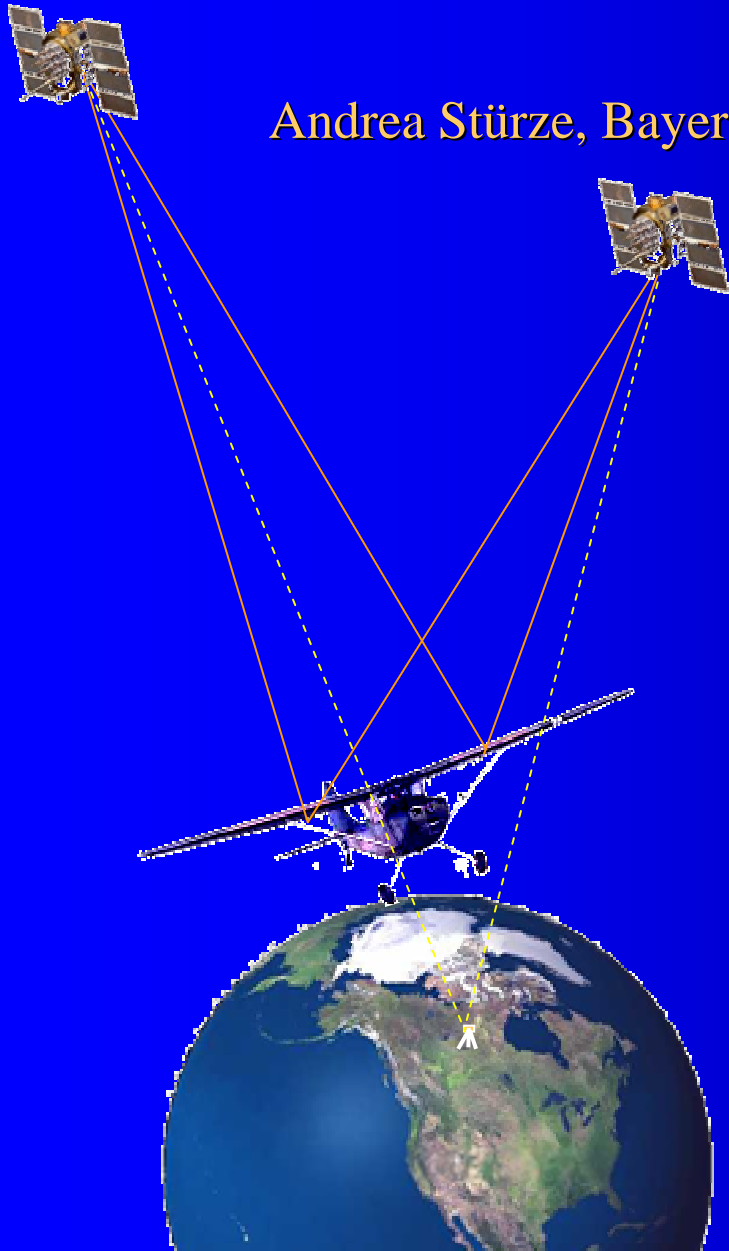


Ein Einblick in die Fluggravimetrie mit 50 S/s GNSS-Beobachtungen

Andrea Stürze, Bayerische Kommission für die Internationale Erdmessung



Motivation

GNSS-System

Theorie & Experiment

Analysen & Ergebnisse

Hochpräzise GNSS-Beobachtungen mit 50 S/s

Motivation



Ziel:

Auflösung für \underline{g} : 1 mGal / 1 km

Bedingung:

hohe Auflösung der kinematischen Beschleunigung des bewegten Trägers

Beitrag:

1. Erhöhung der Beobachtungsrate
 - 10 S/s \gg 1 Position / 5 m
 - **50 S/s** \gg 1 Position / **1 m**
2. Berücksichtigung der tatsächlichen (Flugzeug-)Dynamik bei der Wahl der ‚Loop‘-Parameter des GNSS-Empfängers

$$\underline{g} = \underline{a} - \underline{b}$$

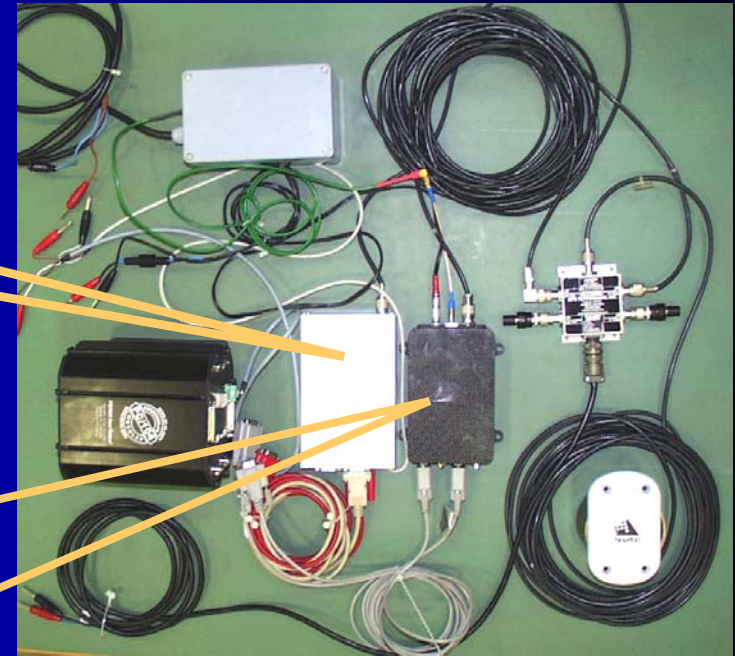
GPS-System zur Beschleunigungsbestimmung

Einfrequenzbord: *JNS100 (Javad)*

- Datenrate: 50 S/s
- Trägerphasengenauigkeit: 0.1 mm
- ‚Loop‘-Parameter veränderbar

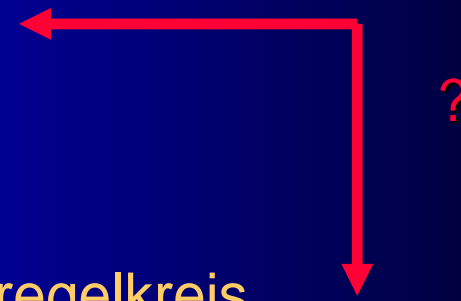
Zweifrequenzbord: *OEM4-G2 (NovAtel)*

- Datenrate: 20 S/s bzw. 50 S/s
- Trägerphasengenauigkeit: 0.7/2 mm
- akzeptiert externen Oszillator

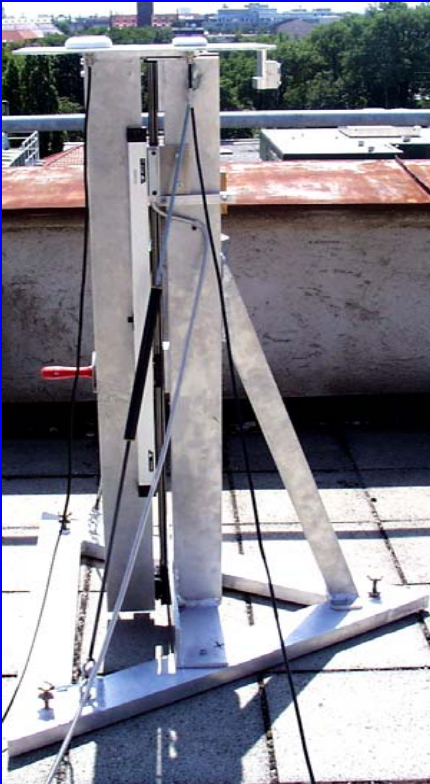
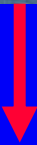


Einflüsse auf die Genauigkeit der Code- und Phasenmessungen:

- Rauschen der Signale in den Regelkreisen des Empfängers
 - natürliche elektromagnetische Strahlung
 - farbiges Rauschen
 - zufällige Bewegungen von Elektronen
 - weißes / thermisches Rauschen
- Flugzeug-Dynamik
- ‚Loop‘-Parameter für Code- und Phasenregelkreis
 - *Bandbreite* ⇔ Durchlassbereich für weißes Rauschen
 - *Ordnung* ⇔ Dynamikfähigkeit des Empfängers



...Experiment



Keine Sollwerte für die Flugtrajektorie

Referenzwerte: Linearmaßstab

- Auflösung: 50 S/s, 0.02 mm
- Vertikale Bewegungen: max. 0.6 m

GPS-Beobachtungen:

- *JNS100* ↔ L1 AeroAntenna
- variierende ‚Loop‘-Parameter: Bandbreite und Ordnung (nur Phasenregelkreis)

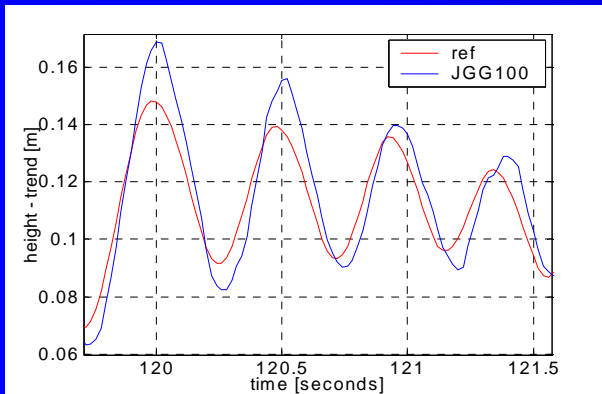
Experiment & Ergebnisse



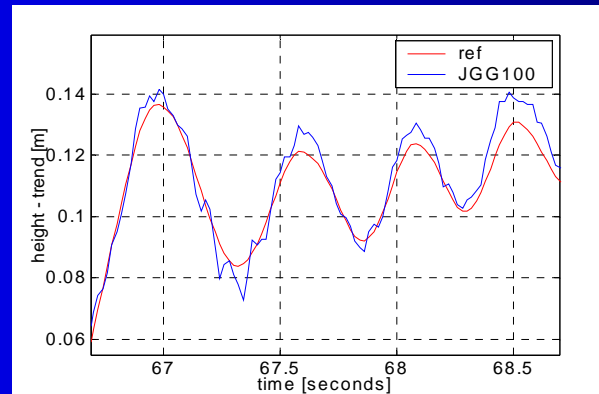
Experiment Nr.	1	2	3	4	5	6
Ordnung	2	2	2	3	3	3
Bandbreite [Hz]	25	25	50	10	30	50
stat / kin	kin	stat	kin	kin	kin	kin

JNS 100

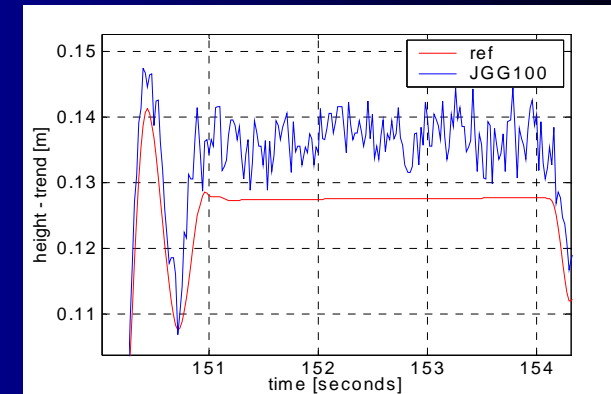
Bandbreite: 10 Hz



Bandbreite: 30 Hz



Bandbreite: 50 Hz



Aspekte zur Systemanalyse

System:

- Ansammlung von Objekten mit Beziehungen untereinander
- Komponenten abhängig vom Standpunkt des Betrachters
 - GNSS-Empfänger \Leftrightarrow Regelkreis(-parameter)

Ablauf einer Systemanalyse:

- Systembeschreibung basierend auf physikalischen Zusammenhängen + Darstellung in nutzbarer Form
 - komplexe Beschreibung \Leftrightarrow Simulation der Systemumgebung
- Schätzung der Modellparameter
- Überprüfung des Modells

Anwendung des Modells

Systembeschreibung: Bandbreite

Analyse der GPS Zeitreihe: $h_{\text{gps}_t} = d_t + x_t$

d_t : deterministischer Teil x_t : stochastischer Teil

$$h_{\text{gps}_t} - d_t = x_t$$



$$h_{\text{gps}_t} - d_t = x_t + v_t$$

weißes
Rauschen

ε_t



weißes
Rauschen



v_t

y_t

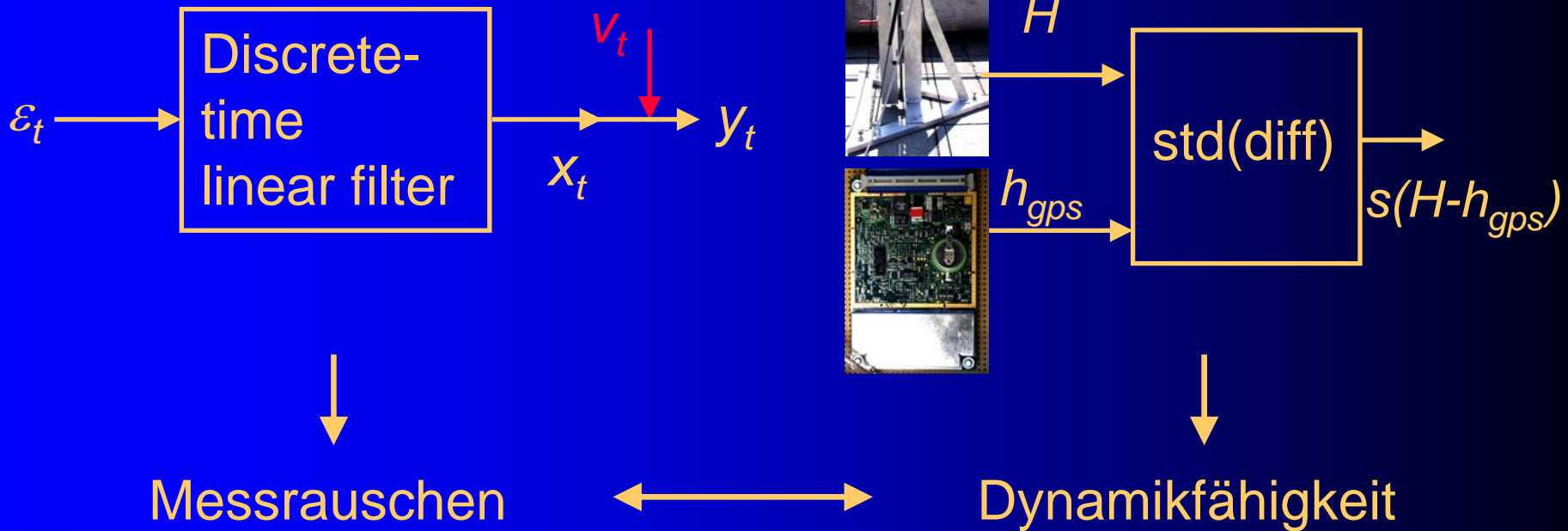
x_t
korrelierter
stochastischer Prozess

EARMA-Modell

Systembeschreibung: ‚Loop‘-Parameter

Referenzwerte \leftrightarrow Ordnung

*E*ARMA-Modell \leftrightarrow Bandbreite

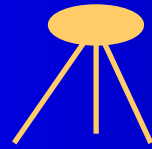


➤ Realistische Bewertung der Qualität der Messungen

Analyseergebnisse: ‚Loop‘-Parameter



JNS 100



Leica SR520 = Referenzstation

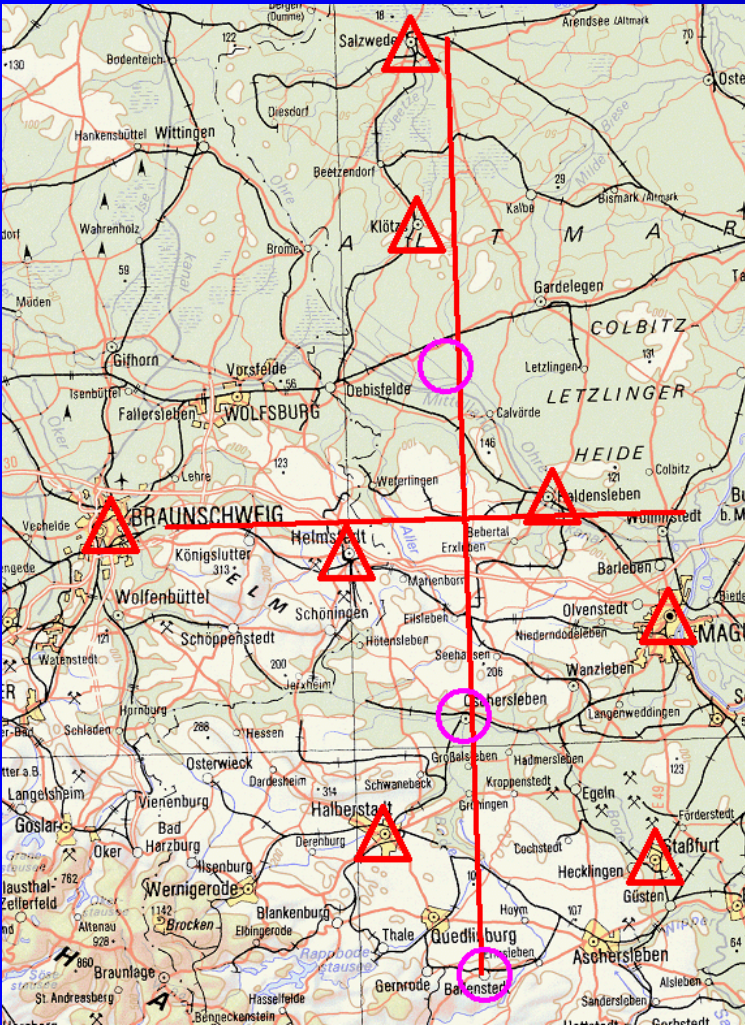
Experiment Nr.	1	3	4	5	6
Bandbreite [Hz]	25	50	10	30	50
Ordnung	2	2	3	3	3
s_{vt} [mm]	1.4	2.6	0.6	1.6	2.6
$s(H-h_{gps})$ [mm]	6.5	6.2	8.3	5.2	5.4

Schlussfolgerung aus Experiment und Systemanalyse:

- Anpassung der ‚Loop‘-Parameter an die tatsächliche Dynamik sinnvoll

Beschleunigungen für die Fluggravimetrie aus 50 S/s GNSS-Positionen I

Beispiel:



b aus zeitlichem Differential
der GNSS-Positionen

Bedingung:

- Lösung der Mehrdeutigkeiten

➤ Referenzstationsnetz

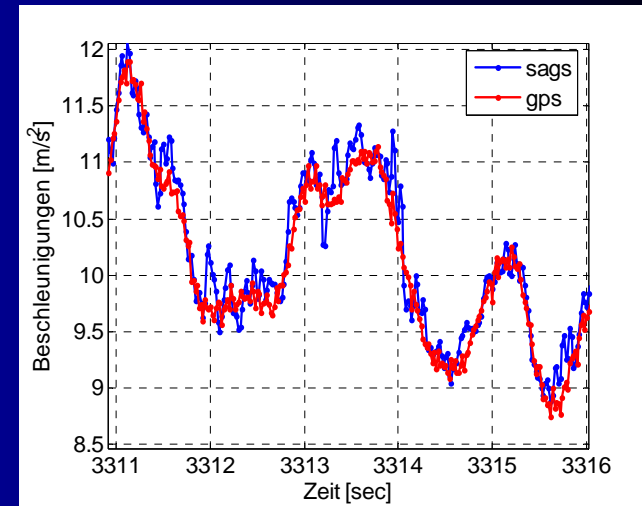


Beschleunigungen für die Fluggravimetrie aus 50 S/s GNSS-Positionen II

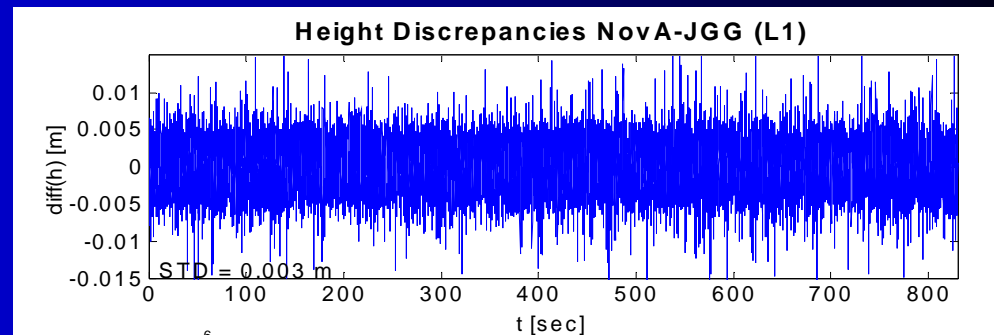


Basis für Vergleich a & b:

- Betragsbildung für a
- unbek. Eichfunktion
- Interpolation über GPS Datenlücken

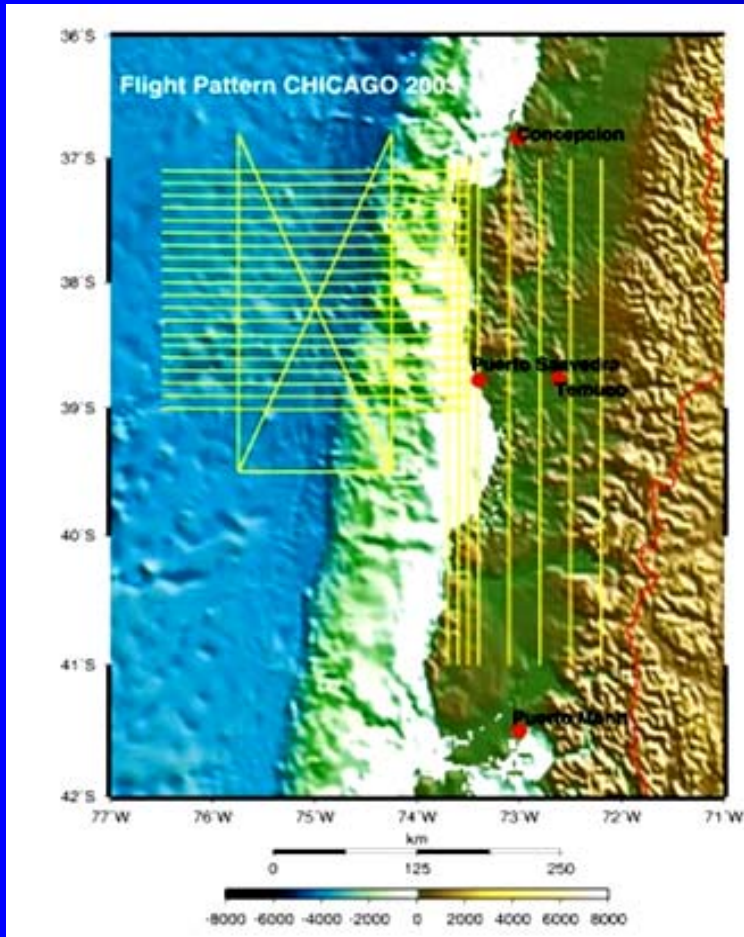


Vergleich GPS-Höhen



Beschleunigungen für die Fluggravimetrie aus 50 S/s GNSS-Beobachtungen

Beispiel:



b aus GNSS-Trägerphasenmessungen eines Empfängers

Vorteil:

- Verzicht auf Mehrdeutigkeitslösung

➤ kein Referenzstationsnetz

Potential der Fluggravimetrie liegt gerade in unzugänglichen Gebieten

Geschwindigkeiten & Beschleunigungen aus GNSS-Trägerphasenmessungen: Theorie

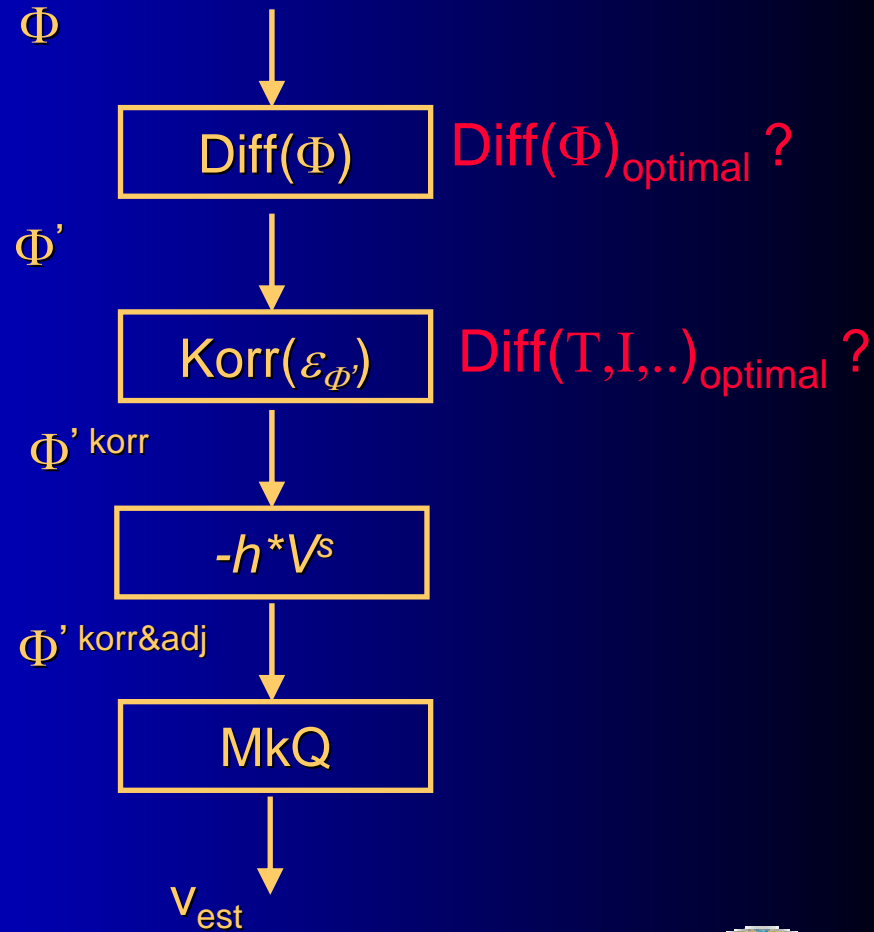
Geschwindigkeiten:

$$\dot{\Phi}_e^s = \dot{r}_e^s + \dot{b}_e + \varepsilon_{e\dot{\Phi}}^s$$

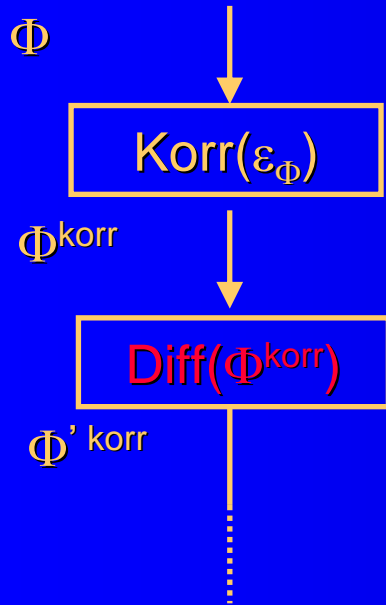
mit

$$\varepsilon_{e\dot{\Phi}}^s = -\dot{B}^s + \dot{I}_e^s + \dot{T}_e^s + \dot{\zeta}$$

$$\dot{\Phi}_e^s = h_e^s (v_e - V^s) + \dot{b}_e + \varepsilon_{e\dot{\Phi}}^s$$



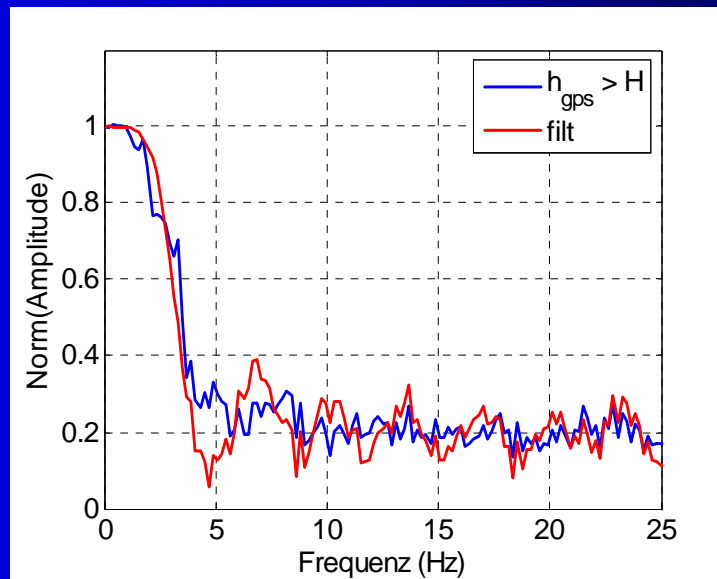
Geschwindigkeiten & Beschleunigungen aus GNSS-Trägerphasenmessungen: Experiment



Differentiation(Φ^{korr})_{optimal} ?

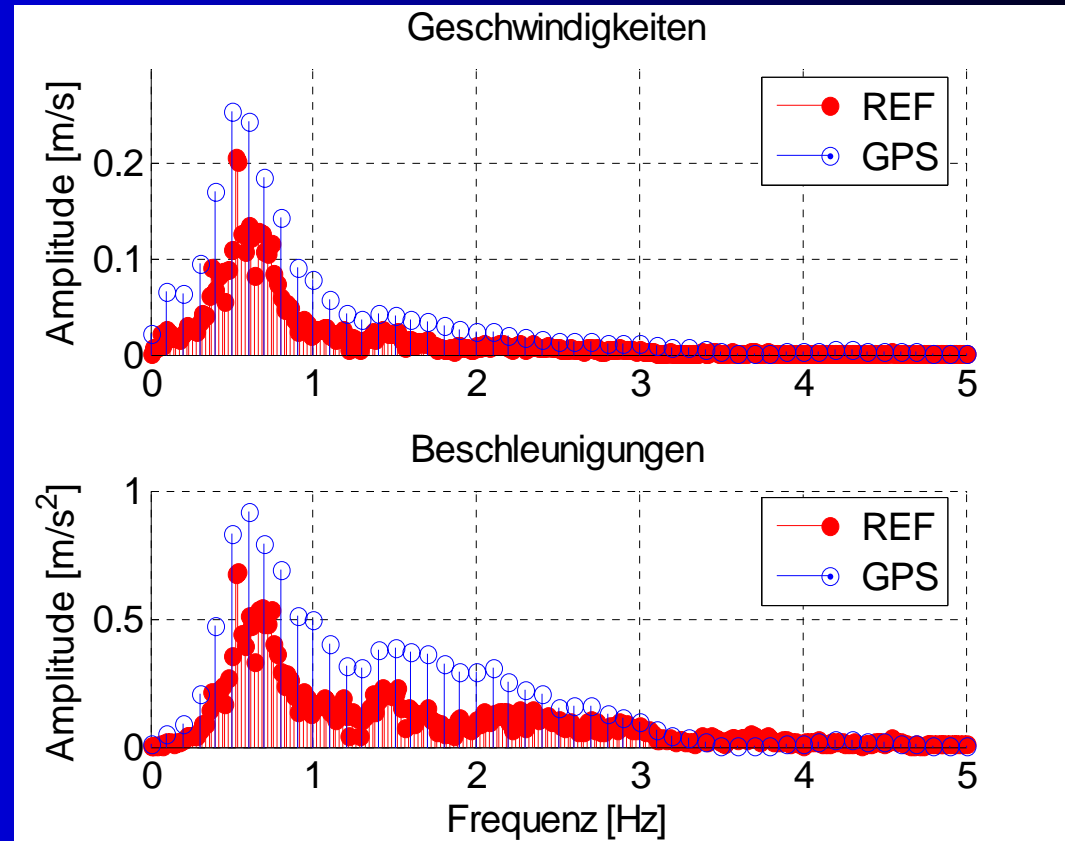
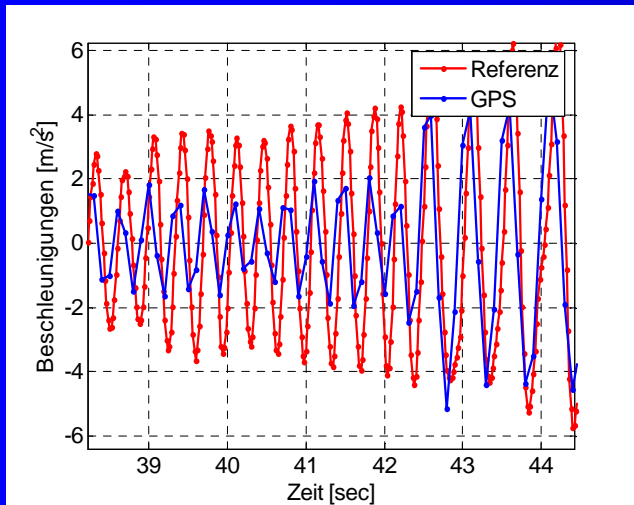
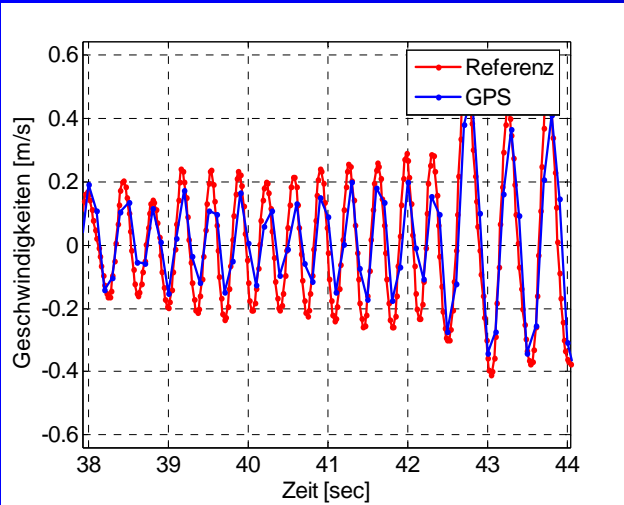
1: $h_{gps} \rightarrow$ Transferfunktion_{est} $\rightarrow H$

2: Anpassung eines Filters



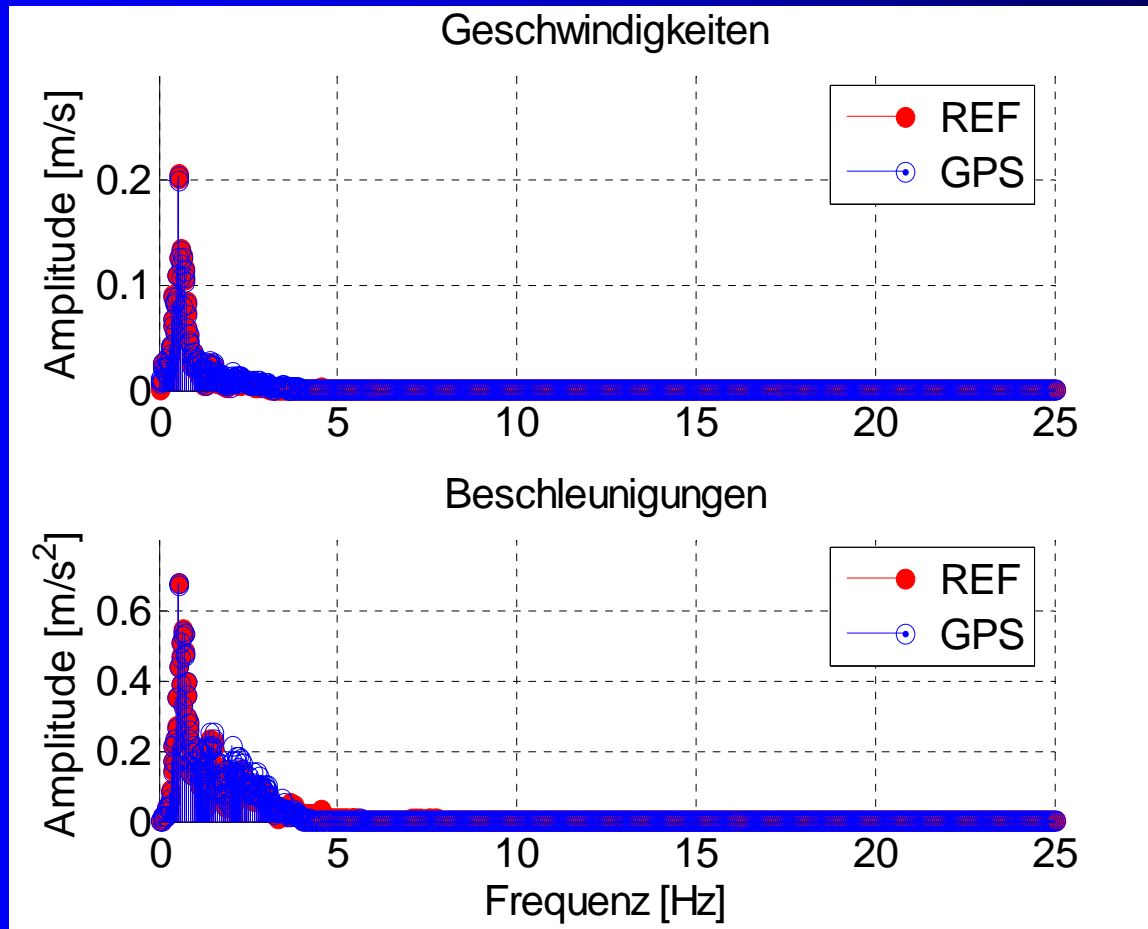
Geschwindigkeiten & Beschleunigungen aus GNSS-Trägerphasenmessungen: Ergebnisse I

10 S/s



Geschwindigkeiten & Beschleunigungen aus GNSS-Trägerphasenmessungen: Ergebnisse II

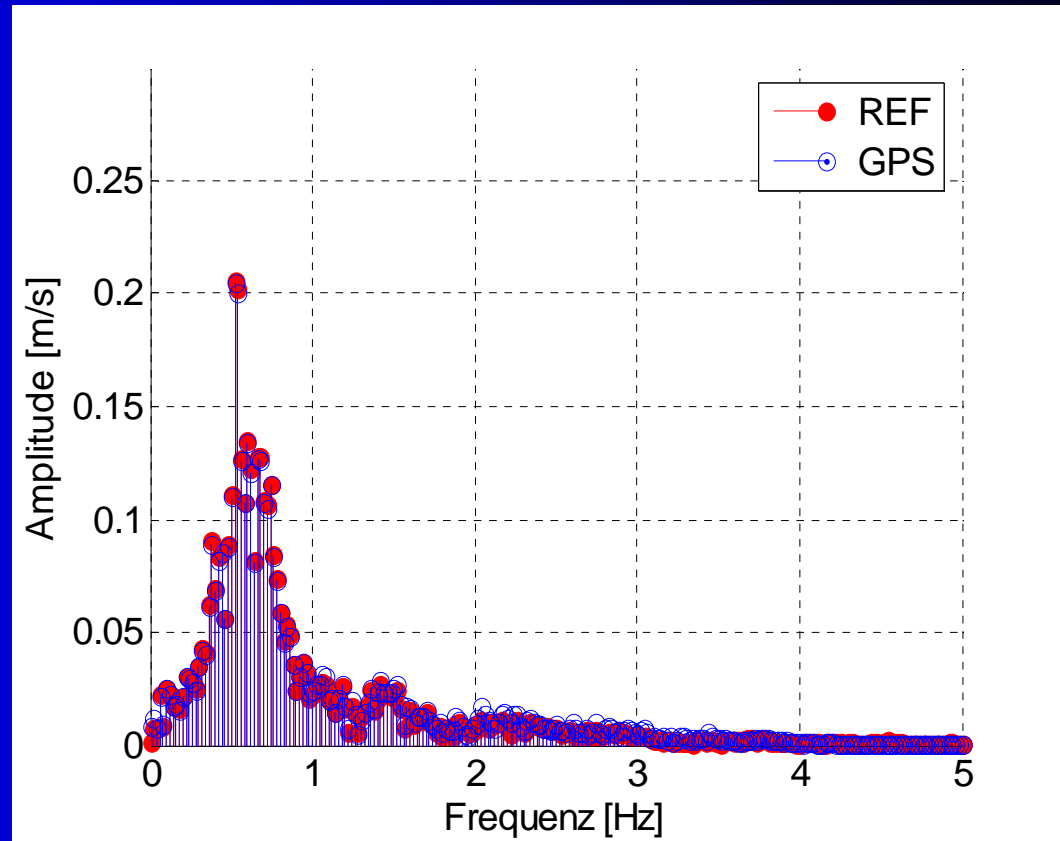
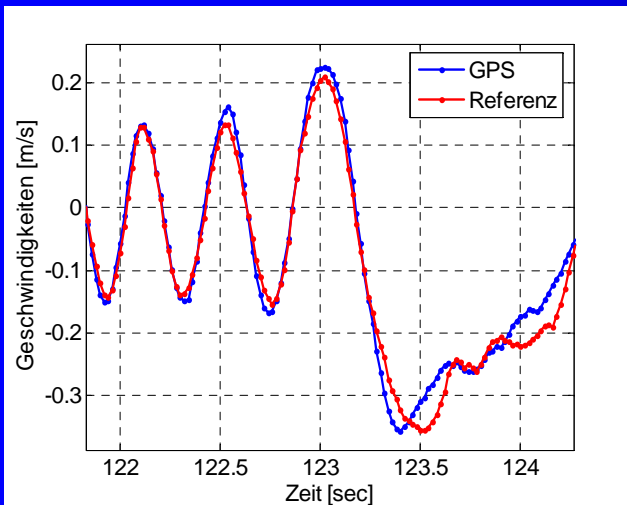
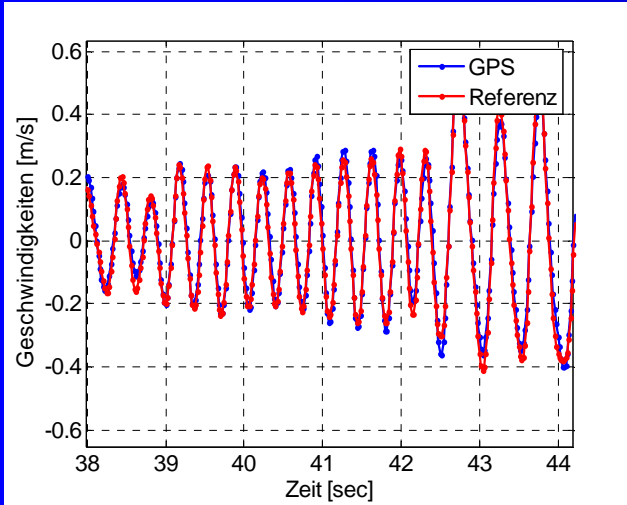
50 S/s



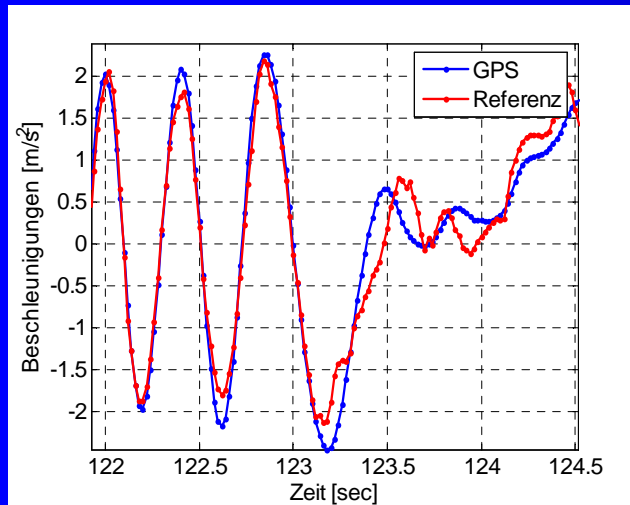
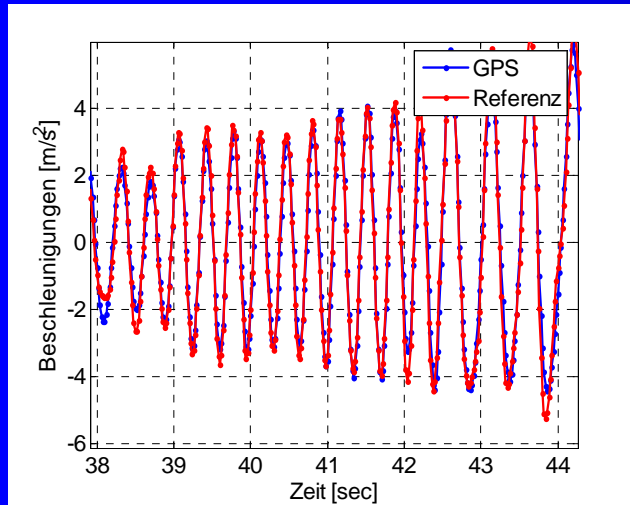
Geschwindigkeiten & Beschleunigungen aus GNSS-Trägerphasenmessungen: Ergebnisse III

Geschwindigkeiten:

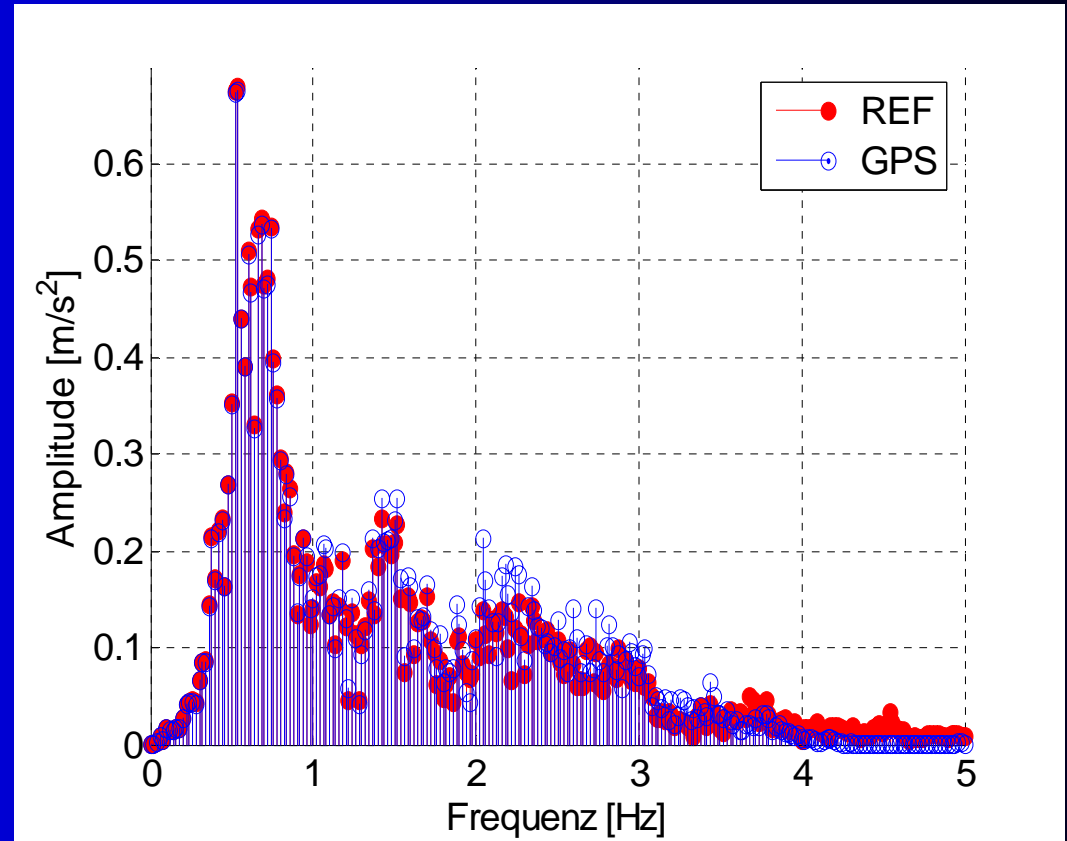
50 S/s



Geschwindigkeiten & Beschleunigungen aus GNSS-Trägerphasenmessungen: Ergebnisse IV



Beschleunigungen: **50 S/s**



Zusammenfassung

Ziel:

Steigerung der Auflösung für ‚g‘

Bedingung:

hohe Auflösung der kinematischen Beschleunigung

Beitrag:

- ✓ Erhöhung der Beobachtungsrate
- ✓ Berücksichtigung der tatsächlichen Flugzeugdynamik bei der Wahl der ‚Loop‘-Parameter des GNSS-Empfängers

Vibrationen an der GPS-Antenne

